

УДК 624.191.52:628.2

Ю.И.БАКАЛИН, д-р техн. наук, А.Г.РУДЬ, канд. техн. наук
Харьковская государственная академия городского хозяйства

В.И.НИКИТЕНКО
УкркоммунНИИпроект, г.Харьков

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТОННЕЛЯХ

Показаны особенности опускной крепи, которые нужно учитывать при проходке стволов на действующих канализационных тоннелях. Приведен пример определения напряженно-деформируемого состояния пород над сводом тоннеля при посадке опускного колодца.

Увеличить долговечность действующих канализационных тоннелей глубокого заложения невозможно, не осуществив ряд организационных, технических и технологических мероприятий, которые позволяют своевременно выполнять текущий и капитальный ремонты в связи со значительным физическим износом конструкций, планомерно проводить технический осмотр тоннельных коллекторов для определения состояния их внутренних поверхностей, сводовой и лотковой частей, рассечек, перепадных устройств и т.д. К таким мероприятиям относятся дублирование, кольцевание участков системы водоотведения, сооружение аварийных сбросов, отключающих и переключающих устройств, которые во многих случаях требуют сооружения стволов на действующих тоннелях в условиях безостановочной транспортировки сточных вод. В таких же условиях стволы приходится сооружать на действующих тоннелях и при выполнении аварийно-восстановительных работ.

Известно, что при строительстве канализационных тоннелей стволы сооружают следующими способами: в открытом котловане; обычной (горной) проходкой; с применением специальных методов, в том числе с забивкой крепью; опускным; "стена в грунте"; ограждение металлическим шпунтом; водопонижение; искусственное замораживание пород; кессон; химическое закрепление грунтов; проходка стволов бурением.

При проходке стволов могут применяться комбинированные способы.

Сооружение стволов в открытом котловане, как правило, используют в случаях, когда при их прямоугольной форме большая сторона, а

при круглой – диаметр меньше 4 м. При этом глубина размещения ствола небольшая, не превышает 6-8 м, горно-геологические условия несложные, площадки строительства свободны от застройки зданиями, наземными сооружениями, подземные коммуникации отсутствуют.

Анализ действующих нормативов [1-3] и литературных источников [4-11] свидетельствует о том, что границы применения способов сооружения стволов неоднозначные, отсутствуют нормы и правила, определяющие эффективные методы сооружения стволов на действующих коллекторных тоннелях.

Издавна народы поселялись на реках, и города располагались и развивались вдоль рек. При этом большинство канализационных сетей трассировались по нормальной (параллельной) схеме, при которой главные коллекторы отдельных бассейнов и городов прокладывались в пониженных местах, вдоль рек, где, как правило, тяжелые горно-геологические условия, высокий уровень грунтовых вод.

Проходка канализационных тоннелей, прокладываемых на больших глубинах, осуществляется в аналогичных, а иногда и более сложных условиях. Подтверждением этого являются системы канализации глубокого заложения городов Киева, Москвы, Санкт-Петербурга, Харькова, Днепропетровска и др., возведение стволов на коллекторных тоннелях которых в 90-95% случаях приходится осуществлять, применяя специальные методы. При проходке стволов в обводненных породах производится водоотлив или водопонижение, в случае оплывающих водонасыщенных грунтов выполняют их замораживание или химическое закрепление, устраивают шпунтовое ограждение, что удорожает строительство, увеличивает его продолжительность настолько, что становится целесообразным применение других более эффективных способов. К последним можно отнести опускной способ или его комбинации.

Практика показывает, что при использовании метода опускной крепи, опускного колодца, возникает ряд особенностей, которые нужно учитывать при проектировании и строительстве. Наиболее характерными из них являются крены, зависание, самопроизвольное опускание, всплытие.

Много отказов происходит в связи с нарушением технологии проходческих работ.

Согласно экспериментальным исследованиям [12] развитие контактного давления и напряженно-деформированного состояния стен многих опускных колодцев имеет единообразный характер. Как правило, давление нелинейно растет с глубиной и несколько уменьшается у дна колодца. В плане давление может распределяться неравномерно:

оно увеличивается в направлении крена колодца, при этом сумма давлений обычно не уравнивается на одном ярусе. Давление уравнивается только для нескольких ярусов пространственно работающей оболочки.

Изучение напряженно-деформированного состояния стен опускаемых колодцев свидетельствует, что они работают как внецентренно-сжатые элементы с большими эксцентриситетами, при этом максимумы последних соответствуют максимумам эпюры давления. Установлено, что значение давления грунта, традиционно рассчитанное по Кулону или по данным осесимметричной задачи предельного равновесия, не совсем точно соответствует результатам замеров. Давление грунта в состоянии покоя на 20-40% больше рассчитанного по Кулону и описывается формулой

$$P_g = n \cdot \gamma \cdot H \cdot K_o,$$

где P_g – давление грунта; $n=1,1$ – коэффициент перегрузки; γ – средневзвешенный объемный вес грунта в состоянии естественной влажности; H – расстояние от поверхности до рассматриваемого сечения; K_o – коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя.

Экспериментальная эпюра давления грунта в плане представляется как сумма двух давлений: равномерного осесимметричного, интенсивность которого близка к давлению грунта в состоянии покоя, и дополнительного неравномерного давления, величина которого зависит от следующих факторов: крена колодца, местной пригрузки поверхности грунта у колодца, значительного наклона пластов грунта и т.д. Максимумы неравномерного давления могут достигать довольно больших значений, особенно в начале опускания. Практика проектирования свидетельствует [13], что максимальные дополнительные давления должны быть не меньше $0,25P_g$ для расчетов в стадии строительства и $0,1P_g$ для расчетов в стадии эксплуатации. Очевидно, в процессе опускания колодца напряженное состояние грунта массива нарушается.

Анализ напряженного состояния колодцев, опускаемых в тиксотропной рубашке, показал, что в зоне рубашки они нагружены не только гидростатическим давлением глинистой суспензии, но и дополнительными неравномерными силовыми воздействиями, иногда возникающими в результате крена или навала. При этом максимум нагрузки может быть приложен с любой стороны колодца. Отмечается, что максимум неравномерного давления может достигать 15% значения гидростатического давления суспензии. Следует учитывать, что

максимальные и минимальные дополнительные давления грунта и тиксотропной суспензии могут быть приложены с разных сторон колодца. Поэтому оценку ситуации следует производить для сочетания, когда максимумы горизонтального давления в зоне тиксотропной рубашки и ножа совпадают по вертикали.

Для встречающихся слоистых напластований грунтов в колодцах с тиксотропной рубашкой силы трения могут иметь максимум на глубине горизонта грунтов с наибольшим коэффициентом трения. Анализ результатов опускания большого числа колодцев показал, что при правильной классификации грунтов можно пользоваться графиками удельных сил трения [14].

При устройстве устья и протяженной части стволов на коллекторных тоннелях, находящихся в эксплуатации, способом опускной крепи необходимо применять технологию горнопроходческих работ, учитывающую не только напряженно-деформированное состояние крепи (стен опускного колодца), но и обеспечивающую прочность и устойчивость обделок действующего тоннеля и горного массива вокруг строящейся горной выработки. Понятно, что прочность обделки действующего тоннеля можно обеспечить минимизацией нагрузок от собственного веса грунта и веса отпусковой крепи, передаваемых на обделку действующего тоннеля. Для выяснения степени влияния последнего обстоятельства воспользуемся конкретным примером определения давления на грунт от веса опускного железобетонного колодца в стадии строительства. Рассмотрим вариант передачи давления на грунт от полного веса колодца при опускании последнего в тиксотропной рубашке. Если же грунт разрушает колодец за счет сил трения по боковой поверхности, то такой вариант будет более благоприятным по сравнению с принятым вариантом, а давление под колодцем будет несколько снижено.

Исходные данные:

Наружный диаметр колодца: $D_n = 8,5 \text{ м}$

Внутренний диаметр колодца: $D_g = 7,2 \text{ м}$

Толщина колодца составит: $b = \frac{8,5 - 7,2}{2} = 0,65 \text{ м}$

Высота колодца: $H = 15 \text{ м}$

Средняя плотность материала: $\rho = 2,4 \text{ т/м}^3$

Средний диаметр колодца: $D_{cp} = \frac{8,5 + 7,2}{2} = 7,85 \text{ м}$

Объем колодца: $V = \pi \cdot D_{cp} \cdot H \cdot b = 3,14 \cdot 7,85 \cdot 15 + 0,65 = 240,5 \text{ м}^3$

Вес колодца: $N = V \cdot \rho = 240,5 \cdot 24 = 5771 \text{ кН}$

Длина ленты опирания на грунт по среднему диаметру

$$L = D_{cp} \cdot \pi = 3,14 \cdot 7,85 = 24,7 \text{ м.}$$

Давление на грунт на уровне подошвы кольца

$$\sigma_{zp} = \frac{N}{b \cdot L} = \frac{5771}{0,65 \cdot 247} = 359 \text{ кПа.}$$

Определим давление в грунтовом массиве с учетом его затухания над опорной лентой и по вертикальной оси, проходящей через центр колодца, начиная с основания (табл.1, 2). Расчет проводим согласно СНиПу 2.02.01-83. Расчленим основание на 10 элементарных слоев и по подошве каждого слоя устанавливаем дополнительное давление с учетом коэффициента рассеивания давления α . Толщину элементарного слоя принимаем равной $h=0,8 \cdot b=0,8 \cdot 0,65=0,52 \text{ м}$. Действующее напряжение $\sigma_{zp} = 359 \text{ кПа}$. Результаты расчета приведены в табл.1, 2.

Таблица 1 – Распределение дополнительного давления с глубиной под подошвой кольца

$Z_i, \text{ м}$	$2Z/b$	α	$\sigma_{zpi} = \sigma_{zp}, \text{ кПа}$
0	0	1	359
0,52	1,6	0,642	230
1,04	3,2	0,374	134
1,56	4,8	0,258	92,6
2,08	6,4	0,196	70,4
2,60	8,0	0,158	56,7
3,12	9,6	0,132	47,0
3,64	11,2	0,110	39,0
4,18	12,8	0,092	33,0
4,70	14,4	0,074	26,0

В расчет введен участок колодца $L_1 = \frac{1}{5} D_H = \frac{8,5}{5} = 1,7 \text{ м}$. Максимальное давление в центральной части колодца при загрузении этого участка составит 5 кПа, от всего кольца – примерно в 6 раз больше, т.е. $\approx 30 \text{ кПа}$, или $0,3 \text{ кг/см}^2$.

Таким образом, с учетом изложенного, можно утверждать, что по мере приближения опускного колодца к коллектору дополнительные давления от веса колодца на коллектор возрастают.

Передачи значительных дополнительных давлений на обделку тоннеля можно избежать, если в опускной крепи ствола предусмотреть

вырезы, охватывающие коллектор на расчетной глубине, с зазором между шельгой коллектора нижней частью выреза или путем изменения технологии горнопроходческих работ, начиная с расчетной глубины.

Таблица 2 – Распределение дополнительного давления с глубиной под центральной частью колодца

$Z_i, \text{м}$	$2Z/b$	α_1	α_2	$\sigma_{ZP_i}=0,5; \sigma_{ZP}(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot 2, \text{кПа}$
0	0	1	1	0
0,52	1,6	0,639	0,635	$0,72 \cdot 2 = 1,44$
1,4	3,2	0,360	0,350	$2,5 \cdot 2 = 5,0$
1,56	4,8	0,230	0,216	$2,5 \cdot 2 = 5,0$
2,08	6,4	0,158	0,145	$2,4 \cdot 2 = 4,8$
2,60	8,0	0,113	0,102	$1,98 \cdot 2 = 3,96$
3,12	9,6	0,085	0,075	$1,8 \cdot 2 = 3,6$
3,64	11,2	0,071	0,063	$1,4 \cdot 2 = 2,8$
4,18	12,8	0,060	0,055	$0,9 \cdot 2 = 1,8$
4,70	14,4	0,053	0,49	$0,7 \cdot 2 = 1,4$

Необходимая высота зазора обеспечивается анкеровкой опускаемого колодца на расчетной отметке с помощью наземного воротника или консольных анкеров с распределительными площадками на уровне дневной поверхности. Этот зазор необходимо выдерживать также во время опускания колодца.

При подработке грунта под стенками колодца во время его опускания площадь стенок суживается до ширины режущей кромки ножа, под которой грунт в результате повышения давления будет находиться в фазе пластической деформации (деформации сдвигов). Напряжения в грунте при формировании зон пластических деформаций не могут превышать прочности грунта, поэтому нарастания напряжений имеют локальный характер.

1.Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов / НИИОСП им. Н.И. Герасимова. Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1977. – 240 с.

2.Указания по производству и приемке работ по строительству в городах и на промышленных предприятиях коллекторных тоннелей, сооруженных способом щитовой проходки / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1975. – 37с.

3.СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты / Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 128 с.

4.Величкин Е.А., Ленец П.Т., Строительство тоннелей и метрополитенов. – М.: Транспорт, 1971. – 390 с.

5.Миндели Э.Ф., Тюркян Р.А. Сооружения и углубки вертикальных стволов шахт. – М.: Недра, 1982. – 312 с.

6.Эткин С.М., Симоненко З.М. Сооружение подземных выработок проходческими щитами. – М.: Недра, 1980. – 340 с.

7. Туренский Н.Г., Ледяев А.П. Строительство тоннелей и метрополитенов: Организация, планирование, управление. – М.: Трансстрой, 1992. – 264 с.
8. Миндели Э.Ф. и др. Техника и технология проходки вертикальных стволов шахт. – М.: Недра, 1970. – 312 с.
9. Строительство стволов шахт и рудников: Справочник под руководством Докукина О.С. и Болотских Н.С. – М.: Недра, 1991. – 516 с.
10. Давыдов В.В., Дуда Е.Г., Ковешников А.И. и др. Под общей редакцией проф., д.т.н. Трупака Н.Г. – М.: Недра, 1980. – 391 с.
11. Филахтов А.Л., Писанко Н.В., Янкулин И.Э. и др. Конструкции и способы строительства заглубленных водопроводно-канализационных сооружений. – М.: Стройиздат, 1979. – 188 с.
12. Байцур А.И., Климов В.Т. Повышение надежности опускных колодцев. – М.: Стройиздат, 1976. – 92 с.
13. Байцур А.И. Опускные колодцы. – К.: Будівельник, 1972. – 208 с.
14. Климов В.Т., Маричев В.И. Строительство опускных колодцев. – М.: Стройиздат, 1975.

Получено 05.04.2001

УДК 624.012.41

С.И. РОГОВОЙ, канд. техн. наук

Полтавский государственный технический университет им. Юрия Кондратюка

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ПРЕДЕЛУ ТЕКУЧЕСТИ РАСТЯНУТОЙ АРМАТУРЫ, ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ СЖАТИИ

Приведены результаты теоретических исследований, позволяющие определить критический эксцентриситет, при котором напряжения в растянутой арматуре достигают условного или физического предела текучести.

При оценке напряженно-деформированного состояния сжатого железобетонного сечения в случае больших эксцентриситетов возникает необходимость определения e_{0R} – критического эксцентриситета, при котором напряжения в растянутой арматуре в случае непереармирования сечения, достигают условного или физического предела текучести. Ниже даются рекомендации по определению такого эксцентриситета.

В соответствии с расчетной схемой (см. рисунок), значение критического эксцентриситета для заданной внешней сжимающей силы N можно представить зависимостью

$$e_{0R} = e - 0,5h + a, \quad (1)$$

где e – эксцентриситет силы N относительно оси, совпадающей с равнодействующей в растянутой арматуре, равный $e = M_R / N$.

Здесь M_R – критический момент, при котором в растянутой ар-